

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭60—305

⑤ Int. Cl.⁴
G 01 B 11/06

識別記号

庁内整理番号
7625—2F

⑬ 公開 昭和60年(1985)1月5日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑭ 透光性薄膜の膜厚測定方法

6号株式会社リコー内

⑰ 出 願 人 株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番
6号

⑱ 特 願 昭58—108460

⑲ 出 願 昭58(1983)6月16日

⑳ 発 明 者 横森清

㉑ 代 理 人 弁理士 樺山亨

東京都大田区中馬込1丁目3番

明 細 書

発明の名称

透光性薄膜の膜厚測定方法

特許請求の範囲

透光性薄膜の分光透過率もしくは分光反射率を利用して、上記透過性薄膜の膜厚を測定する方法であって、

膜厚を測定すべき透光性薄膜に、所定の入射角 θ をもって光を入射させ、

上記透光性薄膜内での多重干渉により、分光透過率もしくは分光反射率が極値をとる、一連の波長 λ_i ($i=1 \sim N$, $N \geq 2$ 、かつ、 $1 \sim N-1$ の i に対して $\lambda_i < \lambda_{i+1}$) を測定し、

これら一連の λ_i のうちから、互いに隣接する波長 λ_i , λ_{i+1} ($i=1 \sim N-1$ のうちの任意のひとつ) に対し、

$$K = \frac{\lambda_{i+1} - \lambda_i}{(\lambda_{i+1} - \lambda_i)}$$

なる K に最も近い正整数 m_i をもって、波長 λ_i の光の干渉次数として推定し、

この推定次数 m_i に応じて、他の波長 λ_k ($k \neq i$) に対する干渉次数 m_k を仮決定し、

かく仮決定された、各干渉次数 m_i ($i=1 \sim N$) について、透過性薄膜の屈折率 n および、波長 λ_i を用いて、

$$d_i = \frac{m_i \lambda_i}{2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}$$

もしくは

$$d_i = \left(m_i + \frac{1}{2}\right) \lambda_i / 2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}$$

に従って、 d_i ($i=1 \sim N$) を算出し、

次に、 m_i のかわりに、 $m_i \pm 1$, $m_i \pm 2$, ... 等の次数を次々に用いて、上記干渉次数 m_i の仮決定と、上記計算とを繰返し行って、 d_i に対する複数の組を得、 d_i が互いに最も良く一致する d_i の組から、透光性薄膜の膜厚 d を決定することを特徴とする透光性薄膜の膜厚測定方法。

発明の詳細を説明

(技術分野)

この発明は、透光性薄膜の膜厚を測定する方法

に関する。

(従来技術)

透光性薄膜の膜厚測定は、蒸着や塗布等、各種コーティングの技術において、極めて重要である。透光性薄膜の膜厚を測定するのに、透光性薄膜の分光透過率もしくは分光反射率を利用し、透光性薄膜の内部での多重干渉を利用する方法が知られている。本発明は、この方法の改良に係るものであるので、以下にまず、上記方法のあらましについて簡単に説明し、あわせて、本発明により改良しようとする問題点を説明する。

分光透過率を利用する方法と、分光反射率を利用する方法とがあるが、ここでは分光反射率を利用する方法について説明する。

第1図に示すように、下地基板BS上に、透光性薄膜TLが形成されており、この透光性薄膜TLの膜厚 d を測定するものとする。

下地基板BSは、屈折率 n_b を有し、透光性薄膜TLは、 n なる屈折率を有するものとする。屈折率 n は、一般に、光の波長 λ の関数であり、特に、

干渉次数を、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ に対応して、それぞれ、 m_1, m_2, m_3, m_4 とすれば、 $m_2 = m_1 - 1, m_3 = m_1 - 2 = m_2 - 1, m_4 = m_1 - 3 = m_3 - 1$ となる。

ところで、一般に、分光反射率の2つの極大を与える波長を λ_a, λ_b 、各干渉次数を m_a, m_b 、屈折率を $n(\lambda_a), n(\lambda_b)$ とすると、透光性薄膜TLの厚さ d は、

$$d = \frac{(m_a - m_b)}{2 \left(\frac{\sqrt{n(\lambda_a)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_a} - \frac{\sqrt{n(\lambda_b)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_b} \right)} \quad (1)$$

で与えられる。

そこで、(1)式において、 $m_a = m_1, m_b = m_2$ としてみると、 d は、

$$d = \frac{1}{2 \left(\frac{\sqrt{n(\lambda_1)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_1} - \frac{\sqrt{n(\lambda_2)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_2} \right)} \quad (2)$$

と与えられる。同様に、 $m_a = m_2, m_b = m_3$ とすると、

このことを示すときは、 $n(\lambda_0)$ 等と表示することにする。 $n(\lambda_0)$ は、波長 λ_0 の光に対する屈折率を表す。なお、 n は、測定波長領域において、常に、 $n_b > n$ とする。

今、第1図に示すように、透光性薄膜TLに対し、入射角 θ で単色光を入射させ、反射光強度によって、反射率を測定する。入射光の波長 λ を連続的に変化させると、分光反射率を測定できる。このとき、分光反射率は、入射光の波長に応じて、例えば、第2図に示すように凹凸状に変動する。これは、透光性薄膜内での多重干渉のためである。

そこで、このような分光反射率の凹凸において極大値を与える一連の波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 等を測定する。

つまり、これら波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 等では多重干渉が生じているのであるが、この段階では、多重干渉の干渉次数は知れていない。しかし、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ は、 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_4$ なる関係を有し、かつ、これらを与える極大は、互いに隣接して連っているから、これらの極大に対応す

$$d = \frac{1}{2 \left(\frac{\sqrt{n(\lambda_2)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_2} - \frac{\sqrt{n(\lambda_3)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_3} \right)} \quad (3)$$

$m_a = m_3, m_b = m_4$ とすると、

$$d = \frac{1}{2 \left(\frac{\sqrt{n(\lambda_4)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_4} - \frac{\sqrt{n(\lambda_3)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_3} \right)} \quad (4)$$

と与えられる。

具体的な例をあげてみよう。

透明な、透光性薄膜を、ポリバラキシリレンで作製した場合を考えてみる。第2図は、実のところ、この場合の、分光反射率の例となっている。第2図の、各極大値を与える波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ は、それぞれ、 $\lambda_1 = 568 \text{ nm}, \lambda_2 = 590 \text{ nm}, \lambda_3 = 613.5 \text{ nm}, \lambda_4 = 639 \text{ nm}$ と、読みとれる。

ポリバラキシリレンの屈折率は、波長550 ~ 650 nmの波長領域内で、一定であり1.64である。すなわち、この場合、測定波長領域内で、 $n(\lambda_1) = n(\lambda_2) = n(\lambda_3) = n(\lambda_4) = 1.64$ である。なお、入射角 θ は、0、すなわち、光は、薄膜に垂直に

入射させている。従って、 $\sin \theta = 0$ である。この条件に従い、上記式(2)、(3)、(4)に従って、透光性薄膜の膜厚 d を算出してみると、(2)式に従って、 $d = 4.64 \mu\text{m}$ 、(3)式に従って、 $d = 4.70 \mu\text{m}$ 、(4)式に従って、 $d = 4.69 \mu\text{m}$ と算出される。このようにして得られる d は、本来、同一のものであるから、これらに対して、最小自乗法等の処理を施して、膜厚 d の測定値を得ることができる。

しかしながら、上に得られた、3つの d の値の間には、最大で $0.06 \mu\text{m}$ のバラツキがある。

このバラツキの原因は、極大を与える波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の読み取り誤差、分光反射率を測定した分光光度計の波長精度、波長分解能が低いことによる。

従って、この従来方式で、膜厚測定の精度を向上させるには、上記読取誤差を小さくし、さらに、波長精度、波長分解能を向上させねばならない。

それには、とりあえず、波長精度、波長分解能の高い分光光度計が必要となり、コストの高い分光光度計を用いねばならない。

(目的)

そこで、本発明の目的は、従来法と同程度の、波長精度、波長分解能の分光光度計を用いて、より精度よく、膜厚を測定しうる、新規な、透光性薄膜の膜厚測定方法を提供することである。

(構成)

以下、本発明を説明する。

本発明の、膜厚測定方法は、従来方法と同じく、透光性薄膜の膜厚を測定するのに、分光透過率もしくは、分光反射率を利用する。

再び、第1図にもどって、透光性薄膜TLの屈折率を n 、下地基板BSの屈折率を n_b とする。このとき、入射角 θ に対し、 $n_b > n$ の場合と、 $n_b < n$ の場合を考える。

まず、 $n_b > n$ の場合を考えると、分光反射率の極大もしくは、分光透過率の極小を与える波長 λ 、次数 m に対して、又、分光反射率の極小もしくは、分光透過率の極大を与える波長 λ' および次数 m' に対して、膜厚 d は、周知の如く、

$$d = \frac{m \lambda}{2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \quad (5)$$

または、

$$d = \frac{m' \lambda'}{2 \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \quad (6)$$

で与えられる。

逆に、 $n_b < n$ の場合にあっては、分光透過率の極大もしくは分光反射率の極小を与える波長 λ 、次数 m に対して、又、分光透過率の極小もしくは分光反射率の極大を与える波長 λ' 、次数 m' に対して、膜厚 d は、それぞれ(5)式(6)式によって、それぞれ与えられる。

本発明は、この事実を利用する。

すなわち、膜厚を測定すべき透光性薄膜に対して、光を所定の入射角 θ をもって入射させる。

そして、分光反射率もしくは分光透過率において、薄膜内の多重干渉により、上記分光反射率もしくは分光透過率が極値をとる一連の波長 λ_i を測定する。極値とは、もちろん、極大値もしくは極大値である。 λ_i におけるサフィックスは、 $1 \sim N$ 、 $N \geq 2$ なる値をとる。また一連の極値であるから、各極大値または各極小値を、連続的にとるものと

し、 $i = 1 \sim N-1$ の i に対して、 $\lambda_i < \lambda_{i+1}$ とする。

このようにして、得られた1連の波長 λ_i のうち、互いに隣接する極大もしくは極小に対応する、波長 λ_i 、 λ_{i+1} をえらび出す。 i は $1 \sim N-1$ のうちの任意のものでよい。

すると、 λ_i と λ_{i+1} とは、互いに隣接した極大もしくは極小に対応するから、それぞれの干渉次数を $m(i)$ 、 $m(i+1)$ とすると、 $m(i) = m(i+1)$ の関係があり、干渉条件から、

$$m(i) \lambda_i = m(i+1) \lambda_{i+1} = (m(i)-1) \lambda_{i+1}$$

が成立つはずである。

そこで、

$$K = \frac{\lambda_{i+1} - \lambda_i}{\lambda_{i+1} + \lambda_i}$$

なる量 K を考えてみると、この K は $m(i)$ を与えるはずであるが、 λ_i 、 λ_{i+1} の読取誤差を考えると、必ずしも、 $K = m(i)$ とはならない。 $m(i)$ は正整数であるが、 K は一般に整数とはならない。そこで、 K に最も近い正整数 m_i をもって、とりあ

えず、波長 λ_i の光の干渉次数として、推定する。

そうすると、波長 λ_{i+1} の光や、波長 λ_{i-1} の光に対する干渉次数の推定値は、 $m_i + 1 = m_{i+1} - 1$ 、 $m_i - 1 = m_{i-1} + 1$ 等となるので、このようにして、各波長 $\lambda_i (i=1 \sim N)$ に対する干渉次数 $m_i (i=1 \sim N)$ を推定する。この操作を、干渉次数の仮決定という。

このように、仮決定された干渉次数 m_i 、波長 λ_i 、入射角 θ 、透過性薄膜の屈折率 n を用いて、

$$d_i = \frac{m_i \lambda_i}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \quad (7)$$

$$d_i = \frac{(m_i + \frac{1}{2}) \lambda_i}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \quad (8)$$

に従って、 $d_i (i=1 \sim N)$ を算出する。なお、屈折率 n は、必要に応じて $n(\lambda_i)$ を用いる。

つぎに、上記 m_i のかわりに、 $m_i \pm 1$ 、 $m_i \pm 2$... 等の次数を用いて、干渉次数の仮決定と、式(7)、(8)のいずれかによる、 d_i の算出を繰返す。

を取り上げてみる。

上記の薄膜の膜厚の測定の場合で、 $n_0 > n$ であり、 $\theta = 0$ 、分光反射率は、第2図の如くであって、 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ は、それぞれ、 $\lambda_1 = 568 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 590 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 613.5 \text{ nm}$ 、 $\lambda_4 = 639 \text{ nm}$ と読みとられたのであった。また n は、一定値 1.64 であった。

この条件を、本発明の場合にあてはめてみる。条件からして、 d_i の算出に用いるのは(7)式であり、 $\theta = 0$ 、 $\sin \theta = 0$ であるから、

$$d_i = \frac{m_i \lambda_i}{2n} = \frac{m_i \lambda_i}{3.28} \quad (9)$$

が用いられることになる。

さて、 λ_1, λ_{i+1} として、上記 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ のうち λ_1 として λ_1 を選ぶと、 $\lambda_{i+1} = \lambda_2$ とする。これらは、 $\lambda_1 = 568 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 590 \text{ nm}$ であるから、

$$K = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{590}{590 - 568} = 26.8$$

であり、 λ_1 に対する干渉次数 m_1 として、26.8 に最も近い正整数 27 を推定できる。すると、この m_1

このようにして、 $d_i (i=1 \sim N)$ に対する複数の組を得る。そして各組において、 d_i が互いにどの程度一致するかを調べ、 d_i が最も良く一致する d_i の組から、透光性薄膜の膜厚 d を決定するのである。

すなわち、 $d_i (i=1 \sim N)$ は、膜厚 d に対応すべきものであるから、本来、互いに一致すべきものであり、これらが、互いに一致しないとすれば、干渉次数の推定にあやまりがあるからである。K によって推定される m_i は、実際の干渉次数に近い値が与えられるはずであるから、 m_i の近傍で推定次数をかえて、上記の如く複数の d_i の組を得れば、その中に、正しい干渉次数があるはずであり、このとき、 d_i の一致度は最大となるのである。なお、本発明の上記手順をプログラム化して、マイクロコンピュータ等を用いることにより、自動的な膜厚測定が可能である。

(効果)

以下、本発明の効果を説明するために、先にとりあげた、ポリバラキンリレンの薄膜の膜厚測定

= 27 の近傍で、次数は、次の第1表のように仮決定される。

第 1 表

	m_1	m_2	m_3	m_4
m_1	27	26	25	24
m_{i+1}	28	27	26	25
m_{i-1}	26	25	24	23

このように仮決定された、各次数系列に応じて(9)式に従って、 d_i を算出してみると、その結果は、第2表の如きものとなる。

第 2 表

	$m_1=28$ のとき	$m_1=27$ のとき	$m_1=26$ のとき
λ_1	$d_1=4.849$	$d_1=4.676$	$d_1=4.502$
λ_2	$d_2=4.857$	$d_2=4.677$	$d_2=4.497$
λ_3	$d_3=4.863$	$d_3=4.676$	$d_3=4.489$
λ_4	$d_4=4.870$	$d_4=4.676$	$d_4=4.481$

この表から明らかなように、 $d_1 \sim d_4$ が互いに最も良く一致するのは、 $m_1 = 27$ のときであり、結局 27 というのが、波長 λ_1 に対する正しい多重干渉の次数を与えていたことが分る。

そして、この結果から、透光性薄膜の膜厚 d として、 $d = 4.678 \mu m$ を得ることができる。この結果では、バラツキは、わずかに $0.001 \mu m$ であり、バラツキが $0.06 \mu m$ である従来法に比して、1桁

以上精度の良い測定が可能となる。

このように、本発明による測定方法では、高い波長精度、波長分解能をもたない分光測定装置を用い、波長の読み取り誤差があっても、極めて高精度で、透光性薄膜の膜厚を測定することが可能となる。

図面の簡単な説明

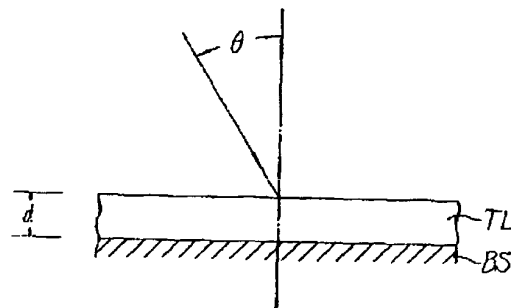
第1図および第2図は、本発明を説明するための図である。

BS … 下地基板、TL … 透光性薄膜。

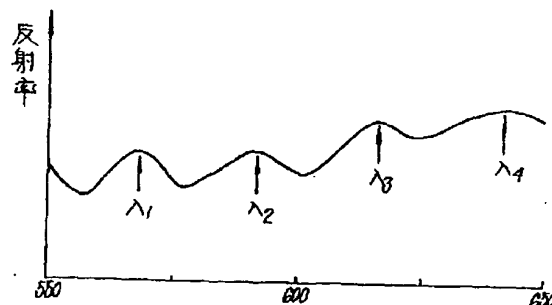
代 理 人 榎 山



第 1 図



第 2 図



手続補正書(自発)

昭和59年5月15日

特許庁長官 若杉和夫 殿

1 事件の表示

昭和58年特許願第108460号

2 発明の名称

透光性薄膜の膜厚測定方法

3 補正をする者

事件との関係 特許出願人

名 称 (674) 株式会社リコー

4 代理人

住 所 東京都世田谷区経堂4丁目5番4号

氏 名 (6787) 榎 山

5 補正の対象

明細書の「発明の詳細な説明」の欄

6 補正の内容

ここで、一般の薄膜では、 λ_j と λ_{j+1} とが近い値なので、この波長間では急激な屈折率変化はない。従って $n(\lambda_j)$ と $n(\lambda_{j+1})$ は近い値となる。上式から、

$m(j)\lambda_j \cong m(j+1)\lambda_{j+1} = (m(j)-1)\lambda_j$ が成立つ。

そこで

$$K = \frac{\lambda_{j+1}}{\lambda_{j+1} - \lambda_j}$$

なる量 K を考えてみると、この K は $m(j)$ を与えることになるが、 λ_j 、 λ_{j+1} の読取誤差や $n(\lambda_j)$ と $n(\lambda_{j+1})$ の差を考えると、必ずしも $K = m(j)$ とはならない。」

(5) 同第11頁第3行中の「 $m_{j+1} = m_j - 1$ 」を「 $m(j+1) = m(j) - 1$ 」と補正する。(6) 同第11頁第4行中の「 $m_j - 1 = m_{j+1}$ 」を「 $m(j-1) = m(j) + 1$ 」と補正する。(7) 同第11頁末尾の「 λ_1 」を「 λ_i 」と補正する。

(8) 同第11頁第9行の「透過性」を「透光性」と

補正する。

(1) 明細書第6頁第3行の式(4)の右辺を

$$\frac{1}{2 \left(\frac{\sqrt{n(\lambda_j)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_j} - \frac{\sqrt{n(\lambda_e)^2 - \sin^2 \theta}}{\lambda_e} \right)}$$

と補正する。

(2) 同第8頁最下行の式(5)の右辺を

$$\frac{m\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}$$

と補正する。

(3) 同第10頁第9行の式「 $m(j) = m(j+1)$ 」を「 $m(j) = m(j+1) + 1$ 」と補正する。

(4) 同第10頁第10行初頭から、同第10頁第17行末尾の「 $m(j)$ 」の前までを、以下のように補正する。

「の関係があり、干渉条件から、

$$\frac{m(j)\lambda_j}{2\sqrt{n(\lambda_j)^2 - \sin^2 \theta}} = \frac{m(j+1)\lambda_{j+1}}{2\sqrt{n(\lambda_{j+1})^2 - \sin^2 \theta}}$$

(9) 同第11頁第14行中の「 m_j 」を「 m_i 」と補正する。

(10) 同第11頁第14行中の「 $m_{j \pm 1}$ 」を「 $m_{i \pm 1}$ 」と補正する。

(11) 同第11頁第14行中の「 $m_{j \pm 2}$ 」を「 $m_{i \pm 2}$ 」と補正する。

Sho60-305

[Translators' note: Subscripts should be considered tentative, given the difficulty of distinguishing between i and j and 1.]

[Specification]

Title of Invention:

Film Thickness Measurement Method for Light-transmitting Thin Film

What Is Claimed Is:

A method for measuring the film thickness of a light-transmitting thin film by utilizing the spectral transmission factor or spectral reflection factor of said light-transmitting thin film, comprising [the steps of]:

Shining light with a predetermined angle of incidence θ on a light-transmitting thin film whose thickness is to be measured,

Measuring a series of wavelengths λ_i ($i = 1 \sim N$, $N \geq 2$, and $\lambda_i < \lambda_{i+1}$ when i is $1 \sim N - 1$) where the spectral transmission factor or spectral reflection factor has an extreme value due to superimposed interference waves within

said light-transmitting thin film,

Taking mutually adjacent wavelengths λ_j and λ_{j+1} (j is one optional value selected from $1 \sim N - 1$) from this λ_i series and using the positive integer closest to K

[See equation from lower left column on page 27]

and estimating the interference order of light of wavelength λ_j ,

Tentatively determining the interference order m_k corresponding to this estimated order m_j for another wavelength λ_k ($k \neq j$),

Calculating d_i ($i = 1 \sim N$) for the tentatively determined interference order m_i ($i = 1 \sim N$) according to

[See first equation from lower right column on page 27]

or

[see second equation from lower right column on page 27]

using the light-transmitting thin film's refractive index n and wavelength λ_i ,

Then repeating said tentative determination of interference order m_i and said calculation using the orders $m_j \pm 1$, $m_j \pm 2$... etc. instead of m_j in succession, finding a plurality of sets for d_i , and determining the film thickness d of the light-transmitting thin film from among the d_i sets that best match d_i .

[portion omitted]

As shown in FIG. 1, a light-transmitting thin film TL is formed on a base substrate BS, and we shall measure the film thickness d of this light-transmitting thin film TL.

Let the base substrate BS have refractive index n_b , and the light-transmitting thin film TL have refractive index n . Refractive index n is usually a function of light wavelength λ ; when specially indicating this, it shall be given as $n(\lambda_0)$, etc. $n(\lambda_0)$ expresses the refractive index for light of wavelength λ_0 . Furthermore, n is such that n_b is always greater than n in the measured wavelength region.

Now, as shown in FIG. 1, monochromatic light is shined on the light-transmitting thin film TL at angle of incidence θ , and reflectivity is measured according to the

intensity of reflected light. If the wavelength λ of the incident light is continuously changed, the spectral reflection factor can be measured. When doing so, the spectral reflection factor fluctuates in an uneven manner according to the incident light's wavelength, as shown in FIG. 2, for example. This is because of superimposed interference within the light-transmitting thin film.

Therefore, we measure a series of wavelengths λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 , etc. that provide maximum values in this sort of spectral reflection factor unevenness.

That is, superimposed interference occurs at these wavelengths λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 , etc., but at this stage the interference order of the superimposed interference is not known. However, wavelengths λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 have the relationship $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_4$ and the maxima these provide are adjacent to one another and in a series, so if m_1 , m_2 , m_3 , m_4 are the interference orders corresponding to these maxima for wavelengths λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 respectively, this gives us $m_2 = m_1 - 1$, $m_3 = m_1 - 2 = m_2 - 1$ and $m_4 = m_1 - 3 = m_3 - 1$. [sic]

Incidentally, if λ_a and λ_b are the wavelengths that give the two maxima for spectral reflection factor, m_a and m_b are the interference orders, and the refractive indices are $n(\lambda_a)$ and $n(\lambda_b)$, the thickness d of the light-transmitting thin film TL is provided by:

[See equation (1) from page 28]

Therefore, if we let $m_a = m_1$ and $m_b = m_2$ in equation (1), d is provided by:

[See equation (2) from page 28]

Similarly, if $m_a = m_2$ and $m_b = m_3$,

[See equation (3) from page 28]

If $m_a = m_3$ and $m_b = m_4$,

[See equation (4) from page 28]

gives d .

Let us attempt a specific example.

Let us consider a case in which a transparent light-transmitting thin film is made of polypara-xylylene. FIG. 2 is an example of the spectral reflection factor in this case in reality. The wavelengths $\lambda_1 \sim \lambda_4$ that provide each maximum value in FIG. 2 can be read as $\lambda_1 = 568 \text{ nm}$, $\lambda_2 =$

590 nm, $\lambda_3 = 613.5$ nm, and $\lambda_4 = 639$ nm respectively.

[portion omitted]

That is, light having a predetermined angle of incidence θ is shined on a light-transmitting thin film whose film thickness is to be measured.

For the spectral transmission factor or spectral reflection factor, we measure a series of wavelengths λ_i where the aforesaid spectral transmission factor or spectral reflection factor produces an extreme value because of superimposed interference inside the thin film. An extreme value, of course, is a maximum value or a maximum [sic] value. The suffix in λ_i is a value from 1~N, where $N \geq 2$. Also, since there is a series of extreme values, each maximum value or minimum value is treated as continuous, and $\lambda_i < \lambda_{i+1}$ [illegible] for i when $i = 1 \sim N-1$.

From the series of wavelengths λ_i obtained in this manner, let us select wavelengths λ_j and λ_{j+1} [illegible], which correspond to mutually adjacent maxima or minima. i may be anything in the range 1~N-1.

If this is so, λ_j and λ_{j+1} [illegible] correspond to mutually adjacent maxima or minima, so if the respective interference orders are $m(j)$ and $m(j+1)$, there is a relationship $m(j) = m(j+1)$, and from the interference parameters the equation

$$m(j)\lambda_j = m(j+1)\lambda_{j+1} = (m_j-1)\lambda_{j+1}$$

must be established.

Therefore, if we consider that K is:

[See equation from bottom right column on page 29]

this K is supposed to provide $m(j)$, but when we consider the error in reading λ_j and λ_{j+1} [illegible], K does not always equal $m(j)$. $m(j)$ is a positive integer, but K is usually not an integer. Therefore for the time being we shall use the positive integer m_j that is closest to K to estimate the interference order of light of wavelength λ_j .

Doing so, the estimated values for the interference orders for light with wavelength λ_{j+1} [illegible] and light with wavelength λ_{j-1} [illegible] are $m_j + 1 = m_j - 1$ and $m_j - 1 = m_j + 1$, etc., so in this way we can estimate the

interference order m_i ($i = 1 \sim N$) for each wavelength λ_i ($i = 1 \sim N$). This operation is called tentatively determining the interference order.

Thus, using the tentatively determined interference order m_i , wavelength λ_i , angle of incidence θ , and the light-transmitting thin film's refractive index n , d_i ($1 \sim N$) is calculated according to:

[See equation (7) from page 30]

[See equation (8) from page 30]

Furthermore, $n(\lambda_i)$ is used as the refractive index n as required.

[portion omitted]

* * *

While all translations are carefully prepared and reviewed, please note that liability for incidental or consequential damages occasioned by omissions, additions, or differences of interpretation shall not exceed the translation fee.